

Таким образом, с помощью описанной методики можно управлять существующими опасными и вредными факторами производственной среды и трудового процесса, а также планировать мероприятия по предупреждению рисков, возникающих при диагностике технических устройств неразрушающими методами контроля.

### Библиографический список

1. ГОСТ 12.0.003–74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М., 1974.

2. ГОСТ 12.0.230–2007. Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда. Общие требования. М., 2007.

3. Воробьев А.Ф., Новосельцева Т.А., Посвежинский В.Ф. Оценка исходного состояния системы управления охраной труда в организациях // Сб. науч. тр. Ухтинского гос. техн. ун-та / под ред. Н.Д. Цхадая. Ухта, 2010. С. 311 – 316.

4. Федосеев В.В., Гармаш А.Н., Дайтбегов Д.М. и др. Экономико-математические методы и прикладные модели / под ред. В.В. Федосеева. М.: ЮНИТИ, 1999.

5. Теория статистики / под ред. Г.А. Шмойловой. М.: Финансы и статистика, 1999.

УДК 681.518+665.625

А.В. Костюков, В.Н. Костюков  
(Научно-производственный центр «Динамика», Омск)  
E-mail: post@dynamics.ru

## КЛАССИФИКАЦИЯ ТРЕНДОВ ВИБРОПАРАМЕТРОВ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

С помощью автоматических систем диагностики и мониторинга в реальном времени КОМПАКС®, охватывающих огромный парк машинного оборудования на десятках предприятий России, были проведены широкомасштабные исследования. В результате этих исследований составлена база знаний в виде трендов вибропараметров, выявляющая закономерности между характером измерения параметров вибрации и процессами деградации технического состояния агрегатов различных типов. Экспериментально подтверждена математическая модель тренда параметра вибрации, утверждающая экспоненциальный рост последнего на стадии катастрофического износа. Исследованы статистические свойства трендов параметров вибрации. Установлено, что значения вибропараметров и скоростей их роста с высокой достоверностью подчиняются закону Вейбула–Гнеденко. Проведена классификация трендов вибропараметров и других диагностических признаков, измеряемых системами мониторинга технического состояния в реальном времени (RTCM). Выявлены тренды с медленными, средними и быстрыми скоростями роста, тренды, имеющие монотонный, экспоненциальный, знакопеременный и мультиомодальный характер. Получены тренды, характеризующиеся высокой и низкой дисперсией. Все типы трендов отражают разные типы развивающихся неисправностей в оборудовании и степень их опасности. Эти данные позволили оценить нормы параметров вибрации и скоростей их роста для центробежных насосно-компрессорных агрегатов. Полученные результаты положены в основу ряда Федеральных стандартов России, касающихся мониторинга состояния оборудования опасных производств.

The paper presents broad-scale research held by means of the COMPACS® systems of automated diagnostics and real-time condition monitoring that have been implemented on considerable amount of machinery equipment at a number of enterprises in the Russian Federation. As a result of this research, a knowledge base of vibration parameter trends has been compiled. It reveals regularities between the type of vibration parameter measurement and the degradation of unit condition. The mathematical model of a vibration parameter trend has been confirmed experimentally, and it states an exponential growth of the vibration parameter trend at the stage of extremely gross wear. In addition, the statistical properties of the vibration parameter trends have been researched. It has been established that generally the values of vibration parameters and their growth rates are subject to the Weibull–Gnedenko distribution. The paper presents the developed classification of vibration parameter trends and other diagnostic features that can be measured by the Real-time condition monitoring (RTCM) systems. Trends that have low, middle and high-speed growth rates have been discovered as well as the trends of monotonous, exponential, alternate and multimodal character. The trends that are characterized by high and low dispersion have been sorted out. Each trend type reflects different defects developing in equipment and degree of danger of these defects. This data allowed us to calculate the norms of vibration parameters and their growth rate for centrifugal pumps and compressors. The obtained results are the base of some Russian State Standards relating to condition monitoring of equipment at hazardous industries.

**Ключевые слова:** вибрация, мониторинг состояния в реальном времени, тренды вибропараметров, база знаний, нормы вибрации.

**Keywords:** vibration, real-time condition monitoring, trends of vibroparameters, knowledge base, norms of vibration.

Для повышения эффективности и безопасности нефтхимических и нефтеперерабатывающих производств [1, 2] первоочередной задачей является без-

аварийная эксплуатация технологического оборудования, в том числе машинного. На таких производствах эксплуатируются тысячи насосных агрега-

тов в основном центробежного типа, которые зачастую составляют большую часть парка машин и обладают низким ресурсом вследствие их длительной эксплуатации. Анализ надежности технологических установок нефтеперерабатывающих заводов показал, что доля отказов из-за машинного оборудования составляет более 70 %, в том числе из-за центробежных насосных агрегатов (ЦНА) – более 60 % всех случаев отказов [3].

Основные современные методы виброакустической диагностики состояния машин базируются на анализе спектров вибросигнала. Так как гармонический анализ спектра требует знания точной конструкции машины [4], то большое разнообразие ЦНА, применяемых в нефтехимическом комплексе, накладывает дополнительные трудности на процесс внедрения данных методов в практику. Поэтому целью данных научных исследований является разработка методов виброакустической диагностики, использующих ортогональные диагностические признаки, инвариантные к конструктивным особенностям ЦНА с учетом динамики процессов износа.

Исследования базировались на изучении статистики износа центробежных насосных агрегатов путем сопоставления виброакустических сигналов, наблюдаемых в течение нескольких лет с помощью сотен систем мониторинга технического состояния в реальном времени (RTCM) на ряде предприятий, с фактическим состоянием агрегатов при их разборке [3]. Математическое моделирование опиралось на современное представление о механизмах износа деталей и машин, а также на результаты анализа трендов вибрации центробежных насосных агрегатов в процессе их эксплуатации.

В качестве элементов исходного вектора диагностических признаков ЦНА были выбраны наиболее распространенные параметры виброакустического сигнала – среднеквадратические значения виброускорения, виброскорости и виброперемещения, отражающие мощность сигнала вибрации в различных частотных областях.

Модель виброакустического сигнала ЦНА можно представить в виде смеси периодической и шумовой составляющих [4], которая описывается выражением

$$S(t) = P(t) + H(t), \quad (1)$$

где  $S(t)$  – виброакустический сигнал, измеренный на корпусе машины;  $P(t)$  – периодическая (детерминированная) составляющая сигнала, несущая известную информацию о техническом состоянии машины;  $H(t)$  – шумовая составляющая сигнала,

включающая в себя недетерминированную информационную компоненту сигнала.

При этом степень развития дефектов определяется отношением мощности детерминированной к мощности случайной компоненты сигнала:  $W_p = P/H$ .

Для оценки ортогональности диагностических признаков использовали меру Линдера [5], равную квадрату коэффициента корреляции сигналов  $L = R^2$ . Сигналы виброускорения  $A$ , виброскорости  $V$  и виброперемещения  $S$  характеризуются интегрально-дифференциальной зависимостью, поэтому провели математическое моделирование меры Линдера виброакустического сигнала вида 1 и его интеграла в зависимости от отношения  $W_p$ , вида периодической составляющей, характеризующего различные классы дефектов (синусоидальный/импульсный), и ширины спектра шумовой составляющей (рис. 1).

В результате математического моделирования установлено, что в общем случае сигналы виброускорения, виброскорости и виброперемещения являются ортогональными, и лишь в случаях позднего развития таких дефектов, как дисбаланс и расцентровка, мера Линдера возрастает (рис. 1, а).

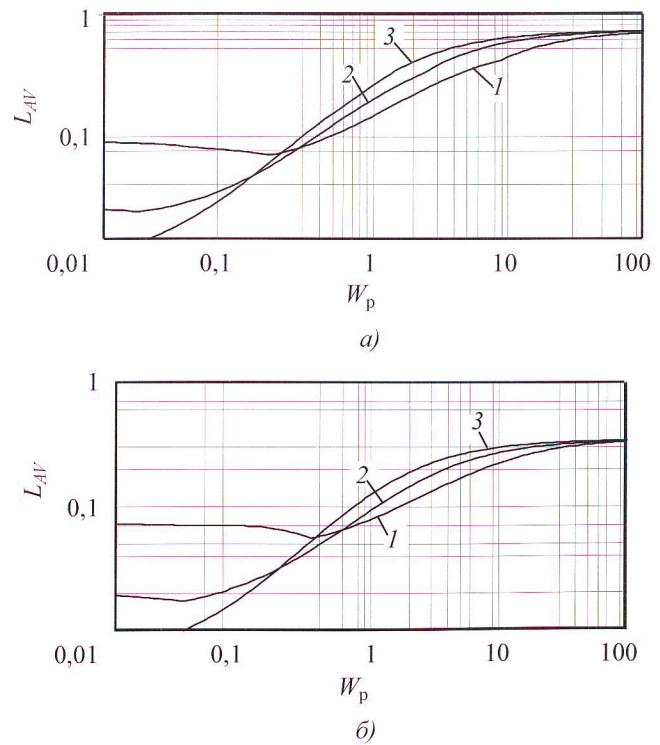


Рис. 1. Зависимость меры Линдера для виброакустического сигнала синусоидального (а) и импульсного (б) видов и его интеграла от отношения  $W_p$  и ширины спектра шумовой составляющей  $f_H$ : 1 –  $f_H = 300$  Гц; 2 –  $f_H = 1$  кГц; 3 –  $f_H = 3$  кГц

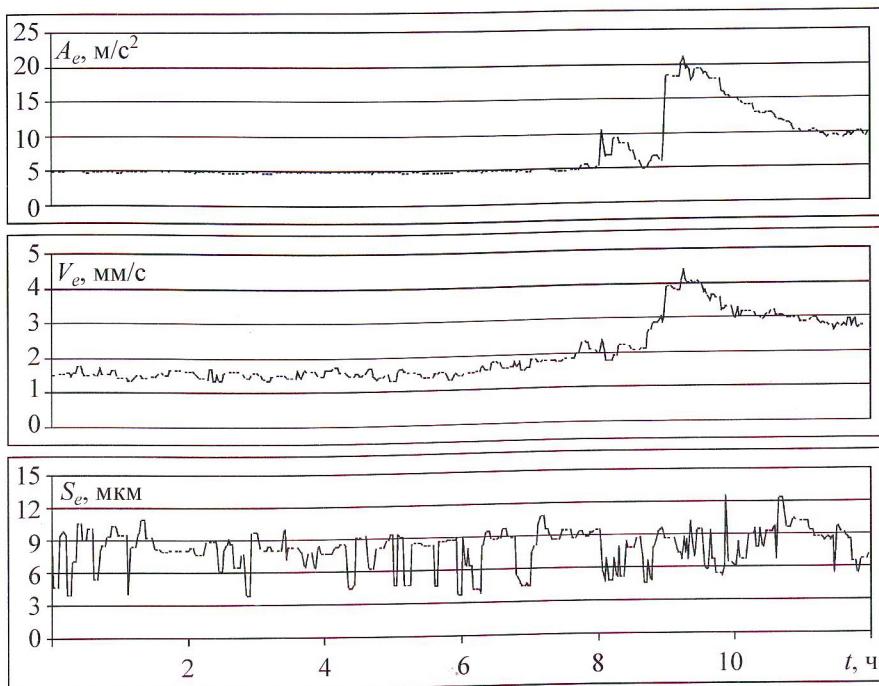


Рис. 2. Тренды вибропараметров в процессе развития неисправности переднего подшипника насоса ЦНА

На рис. 2, 3 в качестве примеров ортогональности виброускорения, виброскорости, виброперемещения приведены тренды вибрации различных ЦНА в процессе деградации технического состояния. На рис. 2 можно отметить раннюю реакцию

виброускорения, а также более позднюю, но заметную реакцию виброскорости на ухудшение состояния агрегата, при этом виброперемещение практически не отреагировало, его изменения носят случайный характер.

Приведенные тренды практически подтверждают гипотезу об ортогональности сигналов виброускорения, виброскорости и виброперемещения. Таким образом, среднеквадратические значения виброускорения, виброскорости и виброперемещения являются ортогональными диагностическими признаками ЦНА.

В ходе наблюдения за характером трендов среднеквадратических значений виброускорения, виброскорости и виброперемещения центробежных насосных агрегатов широкого ряда размерно-мощностных групп и на различных интервалах времени была эмпирически установлена закономерность экспоненциального характера роста вибрации. Данная закономерность согласуется с известными работами по теории надежности и прогнозирования ресурса машин [4], где применяют модель, в основе которой лежит распределение Вейбулла, а вероятность безотказной работы машины определяют как

$$P(t) = \exp[-(t/t_c)^\beta], \quad (2)$$

где  $t_c$  и  $\beta$  – положительные параметры. Закон (2) позволяет описать довольно широкий класс распределений, включая экспоненциальный закон надежности при  $\beta = 1$ . При  $\beta > 1$  формула описывает поведение «стареющих» объектов, у которых интенсивность отказов со временем возрастает.

Исходя из уравнений обобщенной математической модели системы мониторинга [4] аналитическим путем получена зависимость вектора диагностического признака от времени в процессе деградации технического

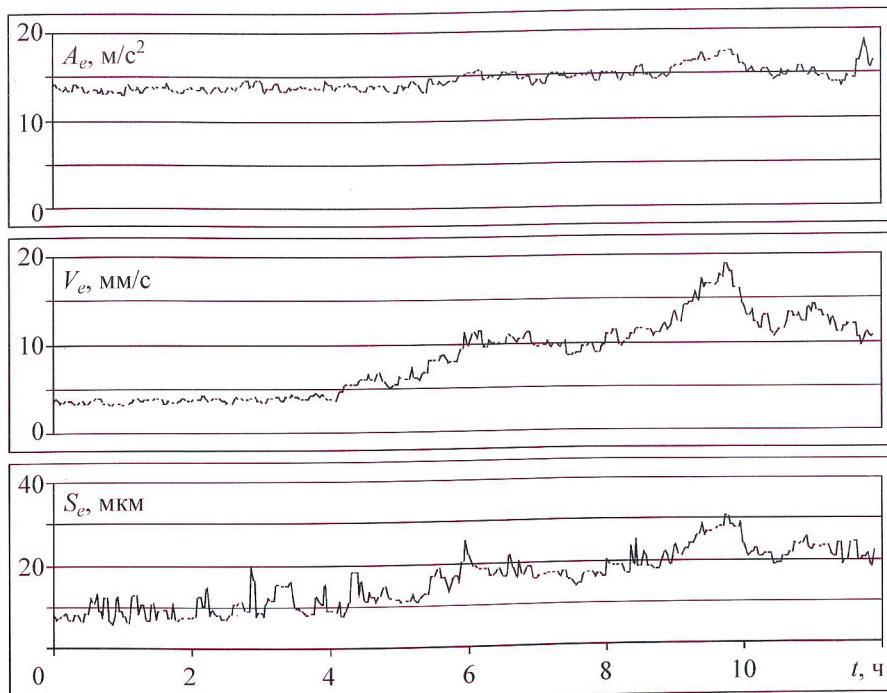


Рис. 3. Тренды вибропараметров в процессе развития расцентровки ЦНА

состояния агрегата при малой величине остаточного ресурса:

$$Y(t) = Y(t_0) e^{\alpha(t-t_0)}, \quad Y(T) = Y_0 e^{\alpha T}, \quad (3)$$

где  $t$  – текущее время;  $t_0$  – начальное время;  $T$  – период работы агрегата;  $Y_0$  – значение диагностических признаков в момент времени  $t_0$ ;  $\alpha$  – положительный параметр, характеризующий интенсивность процессов деградации. Зависимость (3) подтверждает, что тренды вибропараметров при критическом износе ЦНА носят экспоненциальный характер [6].

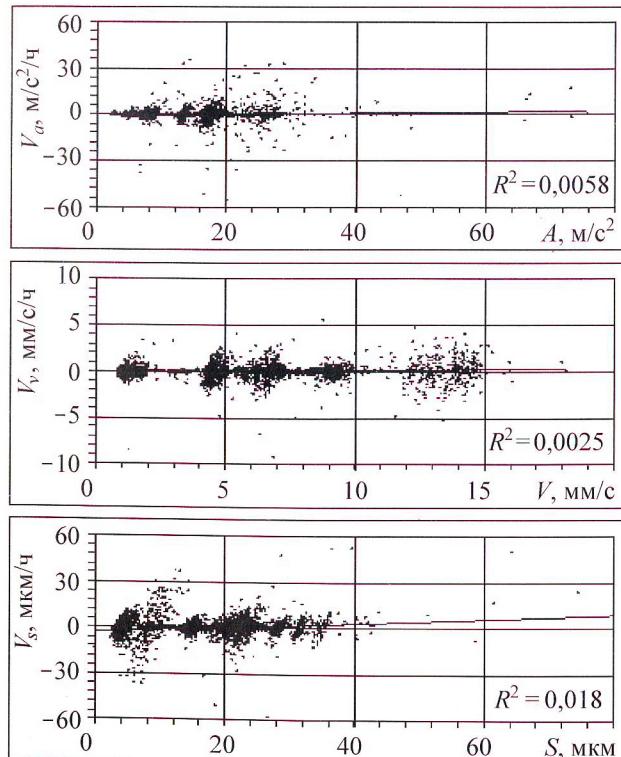
Из выражения (3) выведем уравнение для оценки интервала прогноза тренда диагностического признака вибрации до его недопустимого значения  $Y_{\text{НДП}}$

$$T = \frac{Y(T)}{V(T)} \ln \frac{Y_{\text{НДП}}}{Y(T)}, \quad (4)$$

где  $V(T)$  – скорость роста вибропараметра  $Y(T)$ . Выражение (4) указывает на необходимость определения скорости роста вибропараметра для оценки остаточного ресурса ЦНА.

На рис. 4 приведены совместные распределения вибропараметров и скоростей их изменения, полученные на выборке 11 751 трендов вибропараметров, что эквивалентно статистической надежности 0,999.

Коэффициенты корреляции  $R_{AV_a}$ ,  $R_{VV_v}$  и  $R_{SV_s}$  не значительно отличаются от нуля, т.е. вибропараметры



**Рис. 4. Совместные распределения виброускорения  $A$ , виброскорости  $V$ , виброперемещения  $S$  и их скоростей изменения  $V_a$ ,  $V_v$ ,  $V_s$  соответственно со статистической надежностью 0,999**

и скорости их изменения практически независимы. Сгущения точек соответствуют вибропараметрам агрегатов различных размерно-мощностных групп. Разброс скоростей примерно одинаков для всех «сгущений» вследствие их независимости.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что параметры сигналов виброускорения, виброскорости, виброперемещения и их скорости роста образуют вектор ортогональных диагностических признаков, что подтверждает необходимость их совместного использования для оценки технического состояния ЦНА [7].

Исследования процессов деградации технического состояния ЦНА с помощью систем RTCM показали, что скорости потери работоспособности различных узлов машин существенно различаются [4]. Так, износ зубчатой муфты, соединяющей валы насоса и двигателя, развивается 6...8 мес, а катастрофическое разрушение подшипника – 1...2 ч. Процессы расцентровки в начальной стадии развиваются в течение нескольких суток и даже недель, а в конце этого периода, при сильном ослаблении крепления агрегатов к фундаменту, большая вибрация ускоряет этот процесс – возникает положительная обратная связь и, как следствие, через 2...3 ч наступает срез вала насоса или электродвигателя.

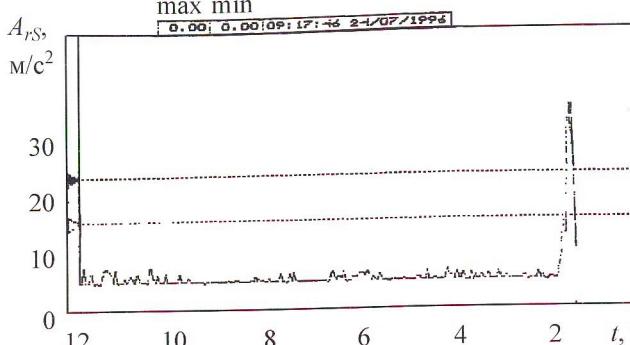
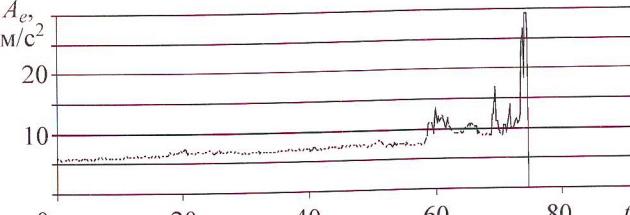
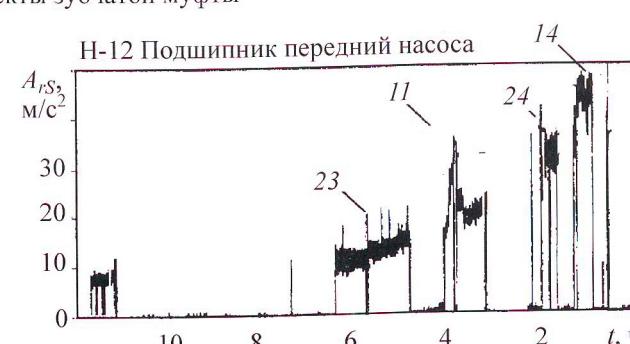
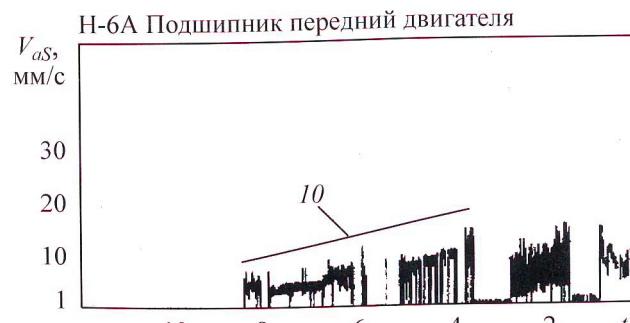
Таким образом, продолжительность экспоненциального роста тренда вибропараметра определяется типом дефекта или неисправности, развивающейся в данный момент времени (типов процесса износа).

Появление серии газовых пузырьков во всасывающей полости насоса приводит к сильным гидроударам, при которых амплитуда виброперемещения корпуса насоса достигает десятых долей миллиметра, а продолжительность составляет 10...15 мин и более, данный процесс повторяется периодически и приводит к росту дисперсии тренда на интервале в несколько часов.

Исходя из сказанного, можно проводить диагностику технического состояния ЦНА, определяя скорости роста и знакопеременный тренд на разных интервалах (в разном масштабе времени), которые соответствуют различным неисправностям.

В результате продолжительных исследований установленного вектора диагностических признаков ЦНА, включающего среднеквадратические значения виброускорения, виброскорости, виброперемещения, скорости их роста и знакопеременный тренд, синтезирована база знаний закономерностей трендов вибропараметров и процессов деградации технического состояния ЦНА на различных интервалах времени, позволяющая диагностировать 13 наиболее распространенных классов неисправностей центробежного насосного агрегата. В таблице приведена выдержка из этой базы знаний.

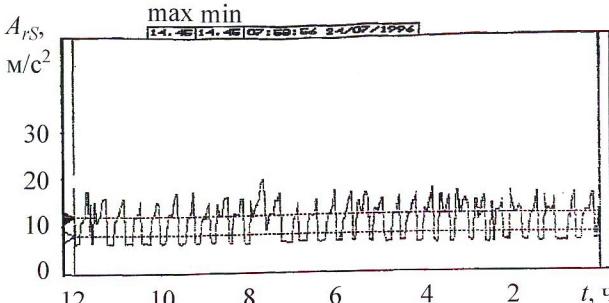
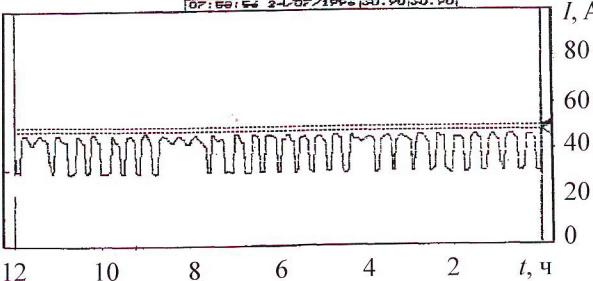
**Выдержка из базы знаний закономерностей трендов вибропараметров и процессов деградации технического состояния ЦНА**

№ п/п	Характерные тренды диагностических признаков	Диагностические признаки
1	Дефекты подшипниковых узлов	
1.1	$A_{rs}, \text{м/с}^2$ 	<p>Экспоненциальный рост виброускорения при быстром разрушении подшипника насоса (30 мин).</p> <p>Быстрый рост и высокий уровень виброускорения – надежная совокупность диагностических признаков подшипниковых узлов</p>
1.2	$A_e, \text{м/с}^2$ 	<p>Длительный линейный рост виброускорения с последующими несколькими экспоненциальными «всплесками» приводят к разрушению подшипника. При катастрофическом износе возрастает число мод в тренде</p>
2	Дефекты зубчатой муфты	<p>Медленный тренд роста и высокий уровень виброускорения – надежная совокупность диагностических признаков для предупреждения износа зубчатой муфты</p>
3	<p>Расцентровка</p> <p>H-12 Подшипник передний насоса</p> 	<p>Медленный тренд роста и высокий уровень виброскорости – надежная совокупность диагностических признаков для предупреждения аварий из-за нарушения центровки валов</p>
	<p>H-6A Подшипник передний двигателя</p> 	

Продолжение табл.

№ п/п	Характерные тренды диагностических признаков	Диагностические признаки
4	<p>Отказ торцового уплотнения</p> <p>Н-3 Подшипник передний двигателя</p> <p>График амплитуды горизонтальной вибрации <math>V_{aS}</math>, мм/с в зависимости от времени <math>t</math>, ч. Помечены выбросы 28 и 29.</p>	<p>Отказы ТУ возникают не только из-за некачественного монтажа или попадания твердых частиц, но и вследствие высоких уровней вибрации насосного агрегата. Это позволяет предупредить не менее 70 % отказов торцовых уплотнений насосов</p>
5	<p>Ослабление фундамента и арматуры</p> <p>Н-3 Подшипник передний двигателя</p> <p>График амплитуды горизонтальной вибрации <math>S_{aS}</math>, мкм в зависимости от времени <math>t</math>, ч. Помечены тренд 6 и выбросы 7 и 8.</p>	<p>Медленный тренд роста и высокий уровень виброперемещения – надежная совокупность диагностических признаков для предупреждения аварий агрегата из-за колебаний трубопроводов и ослабления крепления к фундаменту</p>
6	<p>Гидроудары (нарушение технологического процесса)</p> <p>Н-4А Подшипник передний насоса</p> <p>График амплитуды вертикальной вибрации <math>A_{zS}</math>, м²/с² в зависимости от времени <math>t</math>, ч. Помечены выбросы 19 и 21.</p> <p>Н-4А Подшипник передний насоса</p> <p>График амплитуды горизонтальной вибрации <math>V_{rS}</math>, мм/с в зависимости от времени <math>t</math>, ч. Помечены выбросы 20 и 22.</p>	<p>Дважды нарушение техпроцесса приводило к возникновению гидроударов, вследствие чего вышло из строя ТУ. Гидроудары сопровождаются быстрым ростом и высоким уровнем виброускорения, виброскорости и виброперемещения</p>

Продолжение табл.

№ п/п	Характерные тренды диагностических признаков	Диагностические признаки
7	<p>Кавитация (нарушение технологического процесса)</p>  <p>Н-24 Насос центробежный подшипник передний двигатель</p> 	<p>Насос работает в кавитационном режиме из-за неправильной работы технологической ветви, что резко сокращает его ресурс.</p> <p>Знакопеременный тренд виброускорения – надежный диагностический признак кавитации в насосе при нарушении технологического цикла</p>

Примечание. Числа 6, 7, ..., 10, ..., 28 и др., на графиках обозначают участки тренда.

В целях обеспечения достоверной автоматической диагностики ЦНА в системах RTCM произведено нормирование вектора диагностических признаков. Для этого были построены эмпирические распределения скоростей изменения по выборке 11 751 трендов вибропараметров, что эквивалентно статистической надежности 0,999.

По оригинальной методике проведена аппроксимация распределений законом Вейбулла. Отличия от закона Вейбулла наблюдались лишь на «хвостах» распределения. Поэтому стандартные отклонения  $S$  вычисляли по выборке усеченного объема. Усечение проводили по процентилям эмпирических распределений на уровнях 0,25 и 99,75 %, что охватывает диапазон  $\pm 3S$ .

Анализ распределений и трендов показал целесообразность установления пороговых значений по вероятности для разделения трендов роста на быстрые и медленные для диагностики различных дефектов ЦНА по первой ( $P = 0,1$ ) и девятой ( $P = 0,9$ ) децилям эмпирического распределения [8, 9].

Нормы прошли многолетнюю апробацию в составе сотен систем диагностики и мониторинга на ряде предприятий нефтехимического комплекса, утверждены Госгортехнадзором России [8] и включены в национальный государственный стандарт [9].

Данные результаты были получены благодаря широкому внедрению систем RTCM, комплекс которых на сегодня, без сомнения, является мощнейшей экспериментальной установкой для научных исследований в области виброакустической диагностики.

## Выводы

Предложенные математические модели виброакустического сигнала и тренда параметров виброускорения, виброскорости, виброперемещения ЦНА позволили сформировать вектор ортогональных и инвариантных к конструкции агрегата диагностических признаков ЦНА.

С помощью выявленных закономерностей трендов предложенного вектора диагностических признаков ЦНА и его фактического технического состояния синтезирована база знаний, выделяющая 13 наиболее распространенных классов неисправности ЦНА.

Проведено нормирование диагностических признаков ЦНА – среднеквадратические значения виброускорения, виброскорости, виброперемещения и их скорости роста на различных интервалах наблюдения.

Результаты исследований получили широкое промышленное внедрение на сотнях опасных производств в составе автоматических систем диагностики и мониторинга технического состояния оборудования в реальном времени «КОМПАКС®» [4]. За счет снижения на порядок аварийности и сокращения ремонтов ЦНА в 2 – 4 раза достигнут значительный экономический эффект [1 – 3, 10].

### Библиографический список

1. Малов Е.А., Шаталов А.А., Бронфин И.Б. и др. Эффективность внедрения стационарных систем вибродиагностики «КОМПАКС» на Омском НПЗ // Безопасность труда в промышленности. 1997. № 1. С. 9 – 15.
2. Kostjukov V.N., Boychenko S.N., Kostjukov A.V. Vibromonitoring of Pumps in Russian Refineries // Mimosa Meeting 17. Scottsdale (Arizona), USA, April 12 – 16, 1999. <http://www.mimosa.org/papers/vibromon.zip>.
3. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР – КОМПАКС®) / под ред. В.Н. Костюкова. М.: Машиностроение, 1999. 163 с.
4. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
5. Костюков А.В. Формирование вектора независимых диагностических признаков технического состояния роторных агрегатов // сб. науч. тр. по проблемам двигателестроения, посвященный 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2005. С. 26 – 29.
6. Kostjukov A.V. Оценка работоспособности машин и агрегатов по трендам вибропараметров // Dynamics of machine aggregates: proc. of the 5th Intern. conf. Gabčíkovo, 2000. С. 101 – 104.
7. Костюков А.В. Прогнозирование технического состояния машин по скоростям изменения вибропараметров // тез. докл. Междунар. конф. «Образование через науку», посвященной 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2005. С. 399–400.
8. Руководящий документ. Центробежные электроприводные насосные и компрессорные агрегаты, оснащенные системами компьютерного мониторинга для предупреждения аварий и контроля технического состояния «КОМПАКС». Эксплуатационные нормы вибрации. Разработан НПЦ «Динамика». Утвержден Минтопэнерго и Госгортехнадзором России. М., 1994.
9. ГОСТ Р 53565–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов / НПЦ «Динамика», Ростехэкспертиза, НПС «РИСКОМ», АНО НИЦ КД. Введ. 01.01.2011. М.: Стандартинформ, 2010. 8 с.
10. Kostjukov V.N. Вибродиагностика и мониторинг машинных агрегатов непрерывных производств // Proc. of the 5th Intern. Conf. Dynamics of machine aggregates, June 27 – 29, 2000. Gabčíkovo, 2000. С. 95 – 100.

УДК 620.179.1.082.7.05; 53.082.72/.78

(Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел)

E-mail: asms-orel@mail.ru

## МОНИТОРИНГ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ: ПРЕДПОСЫЛКИ, ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

*Приведен анализ механизмов изменения состояния поверхностей трения при добавлении в смазочные материалы ремонтно-восстановительных составов. Выдвинута гипотеза о двойственном проявлении эффекта модификации поверхности. Помимо модификации поверхностей трения твердой неметаллической фракцией формируются иные условия для смазывания труящихся поверхностей компонентами смазочных материалов. Описаны подходы к применению теории электрорезистивных методов трибодиагностики для исследования рассматриваемых явлений.*

*The analysis of mechanisms of state change of surfaces of a friction is resulted at adding in lubricants of recovery compositions. The hypothesis about dual dealing of effect of modifying of a surface is advanced. Besides modifying of surfaces of a friction by solid nonmetallic fraction other conditions for smearing of rubbing surfaces by components of lubricants are formed. Approaches to application of the theory of electroresistive methods of diagnostics for research of the considered phenomena are described.*

**Ключевые слова:** модификация поверхностей трения, силикаты магния, мониторинг процессов ремонтно-восстановления, технические средства.

**Keywords:** modifying of friction surfaces, magnesium silicates, monitoring of repair recovery processes, means.

**Материалы, используемые при ремонтном восстановлении узлов трения.** Для улучшения функциональных свойств смазочных композиций, уже представляющих достаточно сложную смесь органических соединений, применяют неорганические добавки различной природы и происхождения:

дитиофосфаты различных металлов, мелкодисперсный дисульфид молибдена или графита, некоторые жирные кислоты и их соли и т.д. [1, 2].

В последнее время резко возрос интерес к добавкам, представляющим собой природные минералы, в частности серпентинам – слоистым силика-

ЖУРНАЛ РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ (РОНКТД)

# Контроль. Диагностика

TESTING. DIAGNOSTICS



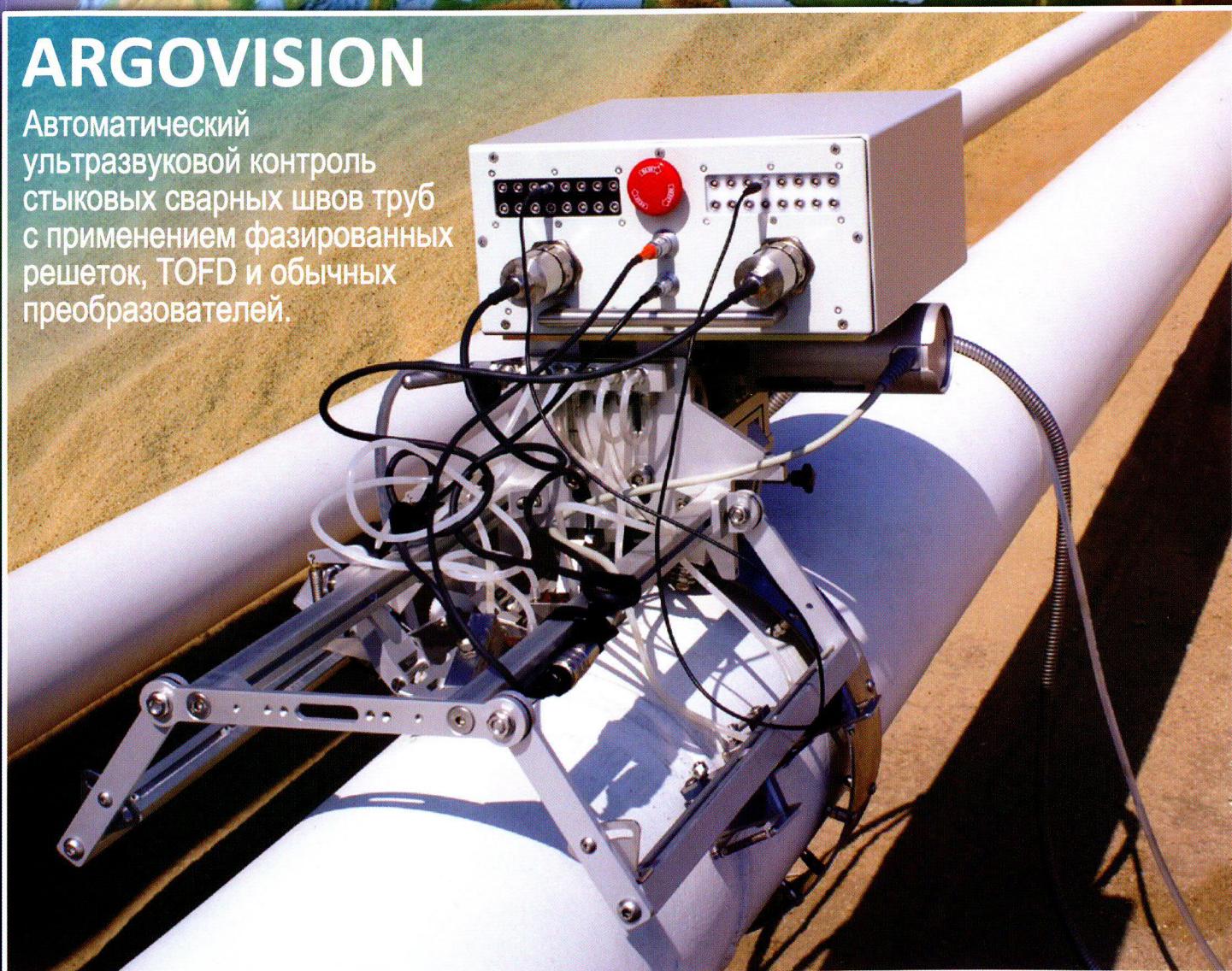
Спектр

Издательский дом

12(162) 2011  
декабрь

## ARGOVISION

Автоматический  
ультразвуковой контроль  
стыковых сварных швов труб  
с применением фазированных  
решеток, TOFD и обычных  
преобразователей.



Sonotron NDT

4, Pekeris str., Rabin Science Park, Rehovot, 76702, Israel  
Phone: +972-(0)8-9311000 Fax:+972-(0)8-9477712  
[www.sonotronndt.com](http://www.sonotronndt.com)

ООО «МНПО «СПЕКТР»

Официальный представитель в России и странах СНГ:  
119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1  
Тел: +7 (495) 626 5359, 626 5348  
<http://www.mnpo-spekt.ru>



Спектр



Главный редактор

**В.В. Клюев** – проф., акад. РАН

Заместители главного редактора:

**В.Г. Шевалдыкин** – д-р техн. наук  
**П.Е. Клейзер**

Редакционный совет:

<b>Б.В. Артемьев</b>	<b>В.И. Матвеев</b>
<b>В.Т. Бобров</b>	<b>Г.А. Нуждин</b>
<b>О.Н. Будадин</b>	<b>К.В. Подмастерьев</b>
<b>В.П. Вавилов</b>	<b>А.В. Полупан</b>
<b>В.А. Голенков</b>	<b>Ю.С. Степанов</b>
<b>Э.С. Горкунов</b>	<b>Л.Н. Степанова</b>
<b>И.Н. Жесткова</b>	<b>В.В. Сухоруков</b>
<b>Г.В. Зусман</b>	<b>В.М. Труханов</b>
<b>В.В. Коннов</b>	<b>Ю.К. Федосенко</b>
<b>Н.Н. Коновалов</b>	<b>М.В. Филинов</b>
<b>Н.В. Коршакова</b>	<b>В.Е. Шатерников</b>
<b>В.Н. Костюков</b>	<b>Г.С. Шелихов</b>
<b>Н.Р. Кузелев</b>	

Ответственные за подготовку  
и выпуск номера:

**П.Е. Клейзер**  
**Д.А. Елисеев**  
**С.В. Сидоренко**

Журнал входит в перечень изданий,  
утвержденных ВАК РФ для публикации  
трудов соискателей ученых степеней.  
При перепечатке материалов ссылка на  
журнал «Контроль. Диагностика»  
обязательна.

За содержание рекламных материалов  
ответственность несет рекламодатель.

Журнал зарегистрирован в Федеральной  
службе по надзору в сфере массовых  
коммуникаций, связи и охраны культурного  
наследия Российской Федерации.  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-46328

Журнал распространяется по подписке,  
которую можно оформить в издательстве  
или в любом почтовом отделении.  
Индексы по каталогам агентств:  
«Роспечать» – 47649;  
«Пресса России» – 29075;  
«Почта России» – 60260.

ООО «Издательский дом «Спектр»  
119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1

Тел.: (495) 514 76 50, 8 (916) 676 12 38  
Http://www.td-j.ru; www.idspektr.ru  
E-mail: td@idspektr.ru, kdpost@rambler.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Ланге Ю.В.</b> По страницам иностранных журналов . . . . .	9
<b>Степанова Л.Н., Кабанов С.И., Канифадин К.В., Лебедев Е.Ю., Бугров А.В.</b> Исследование процесса сварки рельсов акустико-эмиссионным методом . . . . .	12
<b>Артамонов В.В., Коновалов А.А., Балаев А.Р., Артамонов В.П.</b> Контроль плотности металлических порошков после утряски . . . . .	16
<b>Бабаджанов Л.С., Бабаджанова М.Л., Костеев В.А.</b> Измерение геометрических параметров дефектов когерентным корреляционным интерферометром . . . . .	18
<b>Воробьева А.Ф., Новосельцева Т.А.</b> Методика определения рисков в процессе технического диагностирования опасных производственных объектов при применении ультразвукового метода контроля . . . . .	21
<b>Костюков Ал.В., Костюков В.Н.</b> Классификация трендов вибропараметров в задачах мониторинга технического состояния в реальном времени . . . . .	26
<b>Пахолкин Е.В., Сычев С.Н.</b> Мониторинг модифицирования поверхностей трения электрическим методом: предпосылки, физический принцип, технические средства . . . . .	33
<b>Гавриш С.В., Колобова Е.В., Логинов В.В., Шерстнев Д.В.</b> Контроль теплофизических и излучательных характеристик импульсного разряда в парах щелочных металлов оптико-спектральными методами . . . . .	39
<b>Виноградов В.Ю.</b> Исследование технического состояния авиационных ГТД и энергетических установок в целях составления картограмм газодинамических параметров для диагностики . . . . .	45
<b>Фирсов А.В., Посадов В.В.</b> Опыт идентификации неисправностей газотурбинных двигателей с помощью узкополосного спектрального анализа вибрации . . . . .	51
<b>Исмаилов К.Х.</b> Метод автоматической коррекции погрешности сенсорного узла многоволновых солнечных фотометров. . . . .	59
<b>Воронкова Л.В.</b> Определение прочности чугуна ультразвуковым методом . . . . .	62
<b>Степанов А.В., Косарина Е.И., Саввина Н.А.</b> Разработка методики по испытанию радиографических пленок с целью определения целесообразности их применения в дефектоскопии . . . . .	65
<b>Кноль А.А., Кулешов В.К., Учайкина Е.С.</b> Устройство маркировки рентгеновских изображений . . . . .	67
<b>Бабаджанов Л.С., Бабаджанова М.Л., Бакунов А.С., Ефимов А.Г.</b> К вопросу поверки вихревоковых дефектометров . . . . .	70